

## CORRELAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO COM TEORES DE COBRE E MANGANÊS

MENEZES, Matheus<sup>1</sup>  
BIER, Vanderlei Artur<sup>2</sup>  
VILLA, Bruna de<sup>3</sup>  
ZAROR, Aramis Franklin<sup>1</sup>  
MACULAN, Andressa Keli<sup>1</sup>  
FREITAG, Dayane Taine<sup>1</sup>  
SIQUEIRA, Jair Antonio Cruz<sup>4</sup>  
TOKURA, Luciene Kazue<sup>5</sup>

Recebido em: 2021.08.30

Aprovado em: 2022.01.27

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.3959

**RESUMO:** O avanço tecnológico da agricultura de precisão possibilitou no setor agrícola, aplicações mais pontuais de insumos para o manejo das culturas. A agricultura de precisão leva em consideração a localização da área e o manejo adotado, com o intuito de melhorar e aumentar a produtividade das culturas, que na maioria das vezes está relacionada com a fertilidade do solo e pode ser avaliada por meio da condutividade elétrica aparente do solo. Assim, foi objetivo do estudo realizar medições de condutividade elétrica aparente do solo através do medidor de condutividade indutivo *Geonics*® EM38-MK2 e correlacionar com os teores de cobre e manganês em duas áreas distintas (Área A e B). A correlação dos dados foi determinada pelo coeficiente de *Person* e índice Kappa por meio do *software Surfer* 10. Observou-se que a condutividade elétrica aparente do solo pode ser correlacionada diretamente com os atributos cobre e manganês na área de manejo comercial (Área A). Na área experimental (Área B), não se observou correlação dos atributos. Enquanto, nas áreas em que a correlação foi identificada, foi possível reduzir a densidade amostral de análises laboratoriais, de modo que o histórico da área e o manejo empregado pode interferir na relação de condutividade elétrica aparente do solo com os micronutrientes de cobre e manganês.

**Palavras-chave:** Condutímetro; Atributos de solo; Agricultura de precisão.

## CORRELATION OF THE APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE SOIL WITH COPPER AND MANGANESE CONTENT

**SUMMARY:** The technological advance of precision agriculture has made it possible in the agricultural sector, more specific applications of inputs for crop management. Precision agriculture considers the location of the area and the management adopted, in order to improve and increase crop productivity, which is most often related to soil fertility and can be evaluated through apparent electrical conductivity from soil. Thus, the objective of the study was to perform measurements of apparent electrical conductivity of the soil through the *Geonics*® EM38-MK2 inductive conductivity meter and to correlate with the copper and manganese contents in two distinct areas (Area A and B). Data correlation was determined by *Person* coefficient and Kappa index using *Surfer* 10 software. It was observed that the apparent electrical conductivity of the soil can be directly correlated with the copper and manganese attributes in the commercial management area (Area A). In the experimental area (Area B), there was no correlation of attributes. While, in the areas where the correlation was identified, it was possible to reduce the sample density of laboratory analyses, so that the history of the area and the management used can interfere in the relationship of apparent electrical conductivity of the soil with the micronutrients of copper and manganese.

**Keywords:** Conductivimeter; Soil attributes; Precision agriculture.

<sup>1</sup> Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

<sup>4</sup> ORCID-ID <https://orcid.org/0000-0002-8140-444X> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

<sup>5</sup> ORCID-ID <https://orcid.org/0000-0001-9758-0141> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

## INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos tem aumentado consideravelmente e para manter a produção desenvolveram-se novas tecnologias para acelerar o processo, um exemplo é a agricultura de precisão. Nos últimos anos as operações agrícolas passaram a considerar a localização de seu manejo, sendo denominada agricultura de precisão (AP). A AP tem auxiliado agricultores a planejar da melhor forma a produção, diminuindo riscos ambientais e tem como filosofia a sustentabilidade e a lucratividade (SILVA; ALEXANDRE, 2005).

O manejo correto no cultivo tem apresentado bons resultados e partes dos fatores determinantes estão relacionadas com o solo. Alguns de seus atributos são bons critérios para definir a variabilidade do potencial produtivo das áreas de produção (OLIVER *et al.*, 2010). A condutividade elétrica aparente do solo (CEAS) tem se destacado como um método bem-sucedido de avaliar com rapidez, alta resolução e baixo custo, a condição geral de sua fertilidade (SUDDUTH *et al.*, 2005).

Neste contexto, a utilização de variáveis de aquisição rápida, fácil e de baixo custo, a fim de caracterizar a variabilidade existente em um campo de produção, torna-se um fator chave (BOTTEGA *et al.*, 2015). De modo que a AP (agricultura de precisão) é entendida como um conjunto de tecnologias destinadas ao manejo de solos, culturas e insumos, que visa de modo mais detalhado um melhor gerenciamento do sistema de produção agrícola em todas as etapas de desenvolvimento da cultura, desde a semeadura até a colheita, de modo que os resultados práticos e de pesquisa mostram que a aplicação de insumos em taxa variável, comparada com a aplicação pela maneira tradicional otimiza os volumes distribuídos reduzindo custos, diminui desperdícios e melhora ganhos econômicos e ambientais (INAMASU *et al.*, 2011).

Deste modo a medição e a caracterização da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEAS) tem se mostrado uma importante ferramenta, pois se trata de um processo relativamente fácil, rápido e confiável (CORWIN *et al.*, 2003).

Os atributos do solo influenciam em cada campo de produção, podendo ainda influenciar a CEAS de uma área. Devido essa associação é importante identificar os atributos de maior importância.

## MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi conduzido em duas áreas agrícolas, sendo uma com cultivo comercial e outra experimental. A área comercial (Área A – 15 ha), estava localizada no município de Céu Azul –

PR com centro geométrico nas coordenadas 7219975 N e 214400 E 22 J e altitude média 660 m, cultivada sob sistema de plantio direto na palhada rotacionando as culturas de soja, milho e trigo. A área experimental (Área B - 6 ha), estava localizada no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), no município de Cascavel, com centro geométrico nas coordenadas 7244064 N e 243905 E 22 J e altitude média 635 m, cultivada com milho. As duas áreas apresentavam solo tipo Latossolo Vermelho Distroférico típico, conforme Embrapa (2006). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, com precipitação anual de 1800 mm, temperatura média anual de 20 °C e umidade relativa do ar média anual de 75% (IAPAR, 1998).

O solo para análise química da área A foi extraído em novembro de 2015, em 58 locais de amostragem usando pontos de referência que se distanciaram de 65 e 130 m alternadamente, acompanhando o nível do terreno. Na área B, para a análise química foram coletadas 18 amostras compostas, em julho de 2013, distanciando os pontos de coleta em 50 m, aproximadamente, e na direção do desnível, 40 m. A amostragem de solo foi realizada na faixa de profundidade de 0 a 0,20 m, adaptando-se o procedimento sugerido por Wollenhaupt *et al.* (1994). Foram coletadas oito subamostras aleatoriamente, num raio de 3 m, a partir de pontos localizados por um *GPS Trimble GeoExplorerXT*, faixas com tráfego excessivo de máquinas e manobras foram descartadas. A coleta da condutividade elétrica do solo para determinação da umidade foi realizada em novembro de 2016.

O condutímetro EM38-MK2 foi montado em um trenó sem interferências metálicas, construído com madeiras sem utilização de pregos ou parafusos e arrastado por uma motocicleta com velocidade aproximada de 10 km h<sup>-1</sup>, definida de maneira que não ocorresse trepidação do condutímetro e que abrangesse uma maior área de coleta. Para evitar danos ao equipamento, utilizou-se um cano de PVC revestido com espuma interna para proteção.

Utilizando o perfurador *Stihl* BT 45, foram coletadas as amostras para determinação de umidade do solo na profundidade de 0-20 m, eliminando os restos de vegetais na superfície do solo.

Em laboratório as amostras foram analisadas quanto à umidade (método gravimétrico). Amostras de 30 g colocadas em lata de alumínio numerada e de peso conhecido, em estufa a 105 °C durante 24 horas. Após secagem, retiraram-se as amostras pesando novamente. Possibilitando cálculo da umidade gravimétrica (EMBRAPA, 2006).

Na análise estatística descritiva, não houve envolvimento da regionalização dos dados, onde foram calculadas as médias, desvio padrão e coeficiente de variação. Para verificar a relação entre variáveis foi calculado o coeficiente de correlação linear de *Pearson (Microsoft Excel)*, classificando-os conforme proposto por Pimentel-Gomes (1985) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação e intervalos dos coeficientes de variação

Classificação	Intervalos
Baixo	$CV \leq 10\%$
Médio	$10\% \leq CV \leq 20\%$
Alto	$20\% \leq CV \leq 30\%$
Muito alto	$CV > 30\%$

Fonte: Pimentel-Gomes (1985).

Para obtenção de uma grade uniforme os dados de CEAS, Manganês (Mn) e Cobre (Cu), foram interpolados através do *software Surfer 10*, pelo método inverso do quadrado da distância (IQD), mantendo-se uma grade aproximadamente quadrada que proporcionasse 100 linhas ou 100 colunas no máximo, de acordo com cada área (padrão do *software*).

Para poder comparar atributos diferentes, cada conjunto de interpolação foi normalizada, dividindo-se o valor de cada coordenada pela sua média, obtendo-se assim valores adimensionais dos atributos em relação às suas médias. Com estes dados normalizados aplicou-se a estatística Kappa (Ka) nos conjuntos CEAS x Mn e CEAS x Cu, para as duas áreas.

Para verificar a correlação da condutividade elétrica aparente do solo com os teores de Cu e Mn das áreas A e B, os teores químicos foram selecionados de um banco de dados existente, do ano de 2015 (área A) e 2013 (área B). As medições da condutividade elétrica aparente do solo (CEAS) foram realizadas após chuva de grande intensidade em torno de 100 mm no mês de novembro de 2016, de acordo com as instruções de *Geonics* (2009). A umidade do solo foi determinada em 58 pontos na área A e em 18 pontos na área B, nas mesmas coordenadas de coleta do solo para análise química. As amostras de solo foram coletadas segundo a metodologia de Wollenhaupt *et al.* (1994), sendo secas em estufa a 105 °C (EMBRAPA, 2006). Os teores de manganês (Mn) e cobre (Cu) foram selecionados de um banco de dados de análises químicas dos locais de estudo, coletadas nos anos de 2015 (Área A) e 2013 (Área B).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos dados das duas áreas pode ser observada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos atributos coletados

Localização	Atributo	N	Média	Desvio padrão	CV (%)
Área A	CEAS (mS)	1615	248	24,6	9,9
	Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	58	211,72	48,97	23,1
	Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	58	12,42	2,78	22,4
Área B	CEAS (mS)	2957	271	20,1	7,4
	Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	18	6,32	1,05	16,7
	Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	18	4,70	1,40	29,8

Legenda: CEAS: Condutividade elétrica aparente do solo; Mn: Manganês; Cu: Cobre; N: Número de amostras coletadas; CV: Coeficiente de variação.

Conforme observados na Tabela 2, os valores do coeficiente de variação para CEAS foram baixos (7,4% - área B e 9,9% para área A) provavelmente pelo alto número de pontos de coleta. Os coeficientes de variação de cobre das áreas A e B apresentaram valores acima de 20%, sendo classificados como alta variação. O manganês apresentou 23,1% na área A (Alto) e 16,7% de variação (variação média) na área B.

Para Zonta *et al.* (2014), avaliando a variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no cerrado do Brasil, os atributos químicos apresentaram coeficientes de variação alta e muito alta, em contrapartida, os coeficientes de variação de CEAS apresentaram valores classificados como médios e baixos, concordando com os resultados obtidos neste trabalho.

A diferença temporal na aquisição de dados de CEAS e químicos na área A provavelmente não afetaram os resultados, pois o manejo foi realizado a mais de dez anos, incluindo a manutenção de nutrientes. Na área B, o tempo entre a coleta dos atributos químicos (2013) e a coleta das medidas de CEAS (2016) influenciaram a variabilidade da correlação CEAS com Cu e Mn, principalmente pela área fazer parte de um campo experimental e sofrer manejo diferente a cada ano.

Para interpolação dos dados foi utilizado o método inverso do quadrado da distância, segundo recomendações de Souza *et al.* (2010). Após interpolados, os dados de CEAS, Cu e Mn das duas áreas foram divididos em cada nova coordenada de cálculo pela sua média de coleta (normalização). Estes dados normalizados foram correlacionados através do cálculo do coeficiente de *Pearson* e do índice Kappa (Tabela 3), calculado com a divisão de cinco classes, considerando como mínimo da amplitude total das classes o menor valor normalizado das duas interpolações comparadas e para o máximo, o maior valor. Isto permitiu gerar classes iguais para

os dois atributos, com os mesmos valores de faixa, apesar de serem grandezas e magnitudes diferentes.

**Tabela 3.** Coeficientes de *Pearson* e Kappa entre os atributos comparados para as áreas de estudo

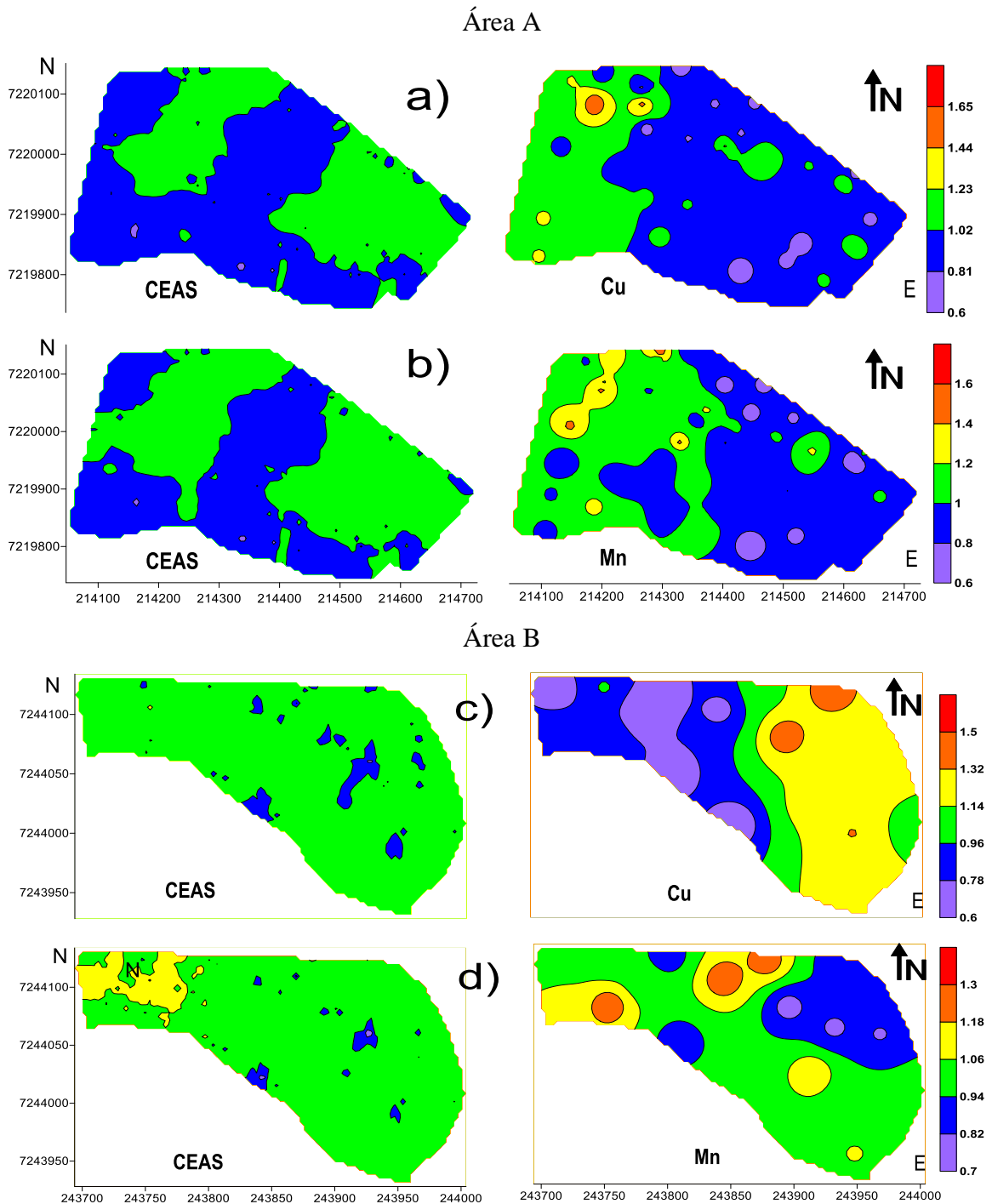
<b>Local</b>	<b>Comparação</b>	<b>R</b>	<b>K</b>
Área A	CEAS x Mn	0,97	0,740
	CEAS x Cu	0,96	0,810
Área B	CEAS x Mn	0,20	0,120
	CEAS x Cu	0,40	-0,001

Legenda: CEAS: Condutividade elétrica aparente do solo; Mn: Manganês; Cu: Cobre; R: Coeficiente de correlação linear de *Pearson*; K: coeficiente Kappa (Cohen, 1969), para cinco classes.

A Tabela 3 mostra a existência da relação linear (R) próxima da máxima correlação direta da condutividade elétrica com Mn e Cu, na Área A, o mesmo não sendo encontrado na Área B. Nunes *et al.* (2014), utilizando um sensor portátil de CEAS *LandMapper* ERM-02, marca Landviser, coletaram condutividade na faixa de profundidade de 0-0,20 m e determinaram o coeficiente de correlação de *Pearson* entre CEAS e PH do solo, encontrando correlação positiva, o mesmo encontrado na área comercial deste estudo e com resultado discordante da área experimental. Mostraram ainda, em seu estudo, que a condutividade elétrica aparente do solo pode se correlacionar diretamente com atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Na Figura 1 encontram-se os mapas de CEAS e atributos químicos de cada área ajustando-se as faixas para representar a média ou valores com incrementos de 20% da média de cada um.

**Figura 1.** Mapas temáticos da distribuição espacial da condutividade elétrica aparente do solo, manganês e cobre, interpolados pelo método inverso do quadrado da distância, normalizados, segundo a área de coleta.



menor que a média original, valor observado quando se altera a faixa das classes dos mapas para representarem incrementos de 20% a partir de um valor nulo. Na Figura 1b, a correlação de CEAS e Mn da área é visualmente notada na região Oeste ( $K = 0,74$  – muito boa e  $R = 0,97$ ), ajustando-se as faixas de legenda dos mapas, com 20% acima da média do atributo original. O mapa de Mn apresentou variações superiores de 20 a 40% da mediana região NO, sendo que na região leste (E) do mapa ficou abaixo da média.

Nas representações de CEAS e Cu da área B (Figura 1c), foi possível visualizar uma correlação que tende a demonstrar valores de Cu normalizados abaixo dos valores de CEAS na região oeste e acima destes na metade leste, comprovada pelo valor de  $K = -0,001$  (concordância pobre) e  $R = 0,4$ . Este comportamento pode estar associado aos diferentes manejos na área, em que se tratando de uma área experimental, não recebe correções de solo de mesmo modo. O resultado também pode ter sofrido alguma interferência do fator tempo entre a coleta de dados para a análise química e da CEAS.

De maneira análoga ao Cu, o mapa de Mn da área B comparado com CEAS apresentou concordância pobre ( $K = 0,120$ ), com correlação de Pearson de  $R = 0,20$  (baixa correlação). Nos mapas de CEAS e Mn (Figura 1d), foi possível observar uma predominância dos valores de Mn abaixo e acima da média normalizada de CEAS em todo o mapa. A região noroeste apresentou valores de CEAS variando de 1,06 a 1,18 ou seja, aproximadamente 20% acima dos valores de Mn, enquanto, a região sudoeste o comportamento foi exatamente ao contrário. A maior concentração de condutividade elétrica do solo presente nessa localização pode estar relacionada a antigos experimentos implantados no local ou ainda com teores de água ou argila presente no solo. Na região sudeste o comportamento de CEAS foi o mesmo do Mn, porém na região nordeste, para os mesmos teores de CEAS os teores de Mn foram em torno de 20% inferiores à média, indicando existir algum outro fator desconhecido envolvido.

## CONCLUSÃO

A condutividade elétrica aparente do solo pode ser correlacionada diretamente com os atributos Cobre e Manganês na área de manejo comercial (Área A). Na área experimental (Área B), não se observou correlação dos atributos. Nas áreas em que a correlação é identificada, é possível reduzir a densidade amostral de análises laboratoriais.

O histórico da área de estudo e seu manejo pode interferir na relação de condutividade elétrica aparente do solo com os atributos cobre e manganês.



**REFERÊNCIAS**

BOTTEGA, E. L.; QUEIRAZ, D. M.; SANTOS, N. T.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 134-142, 2015. <https://doi.org/10.14295/cs.v6i2.354>

CORWIN, D. L., LESCH, S. M.; SHOUSE, P. J.; SOPPE, R.; AYARS, J. E. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. **Agronomy Journal**, v. 195, n. 2, p. 352-364, 2003. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.3520>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 306p. 2006.

INAMASU, R. Y. et al. 2011. Estratégia de implantação, gestão e funcionamento da rede agricultura de precisão. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação.

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: Iapar, 1998.

NUNES, M.F.; BRITTO, M. D.; QUEIROZ, D. M. Correlação existente entre a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO- ConBAP, **Anais [...]** 2014.

OLIVER, Y. M.; ROBERTSON, M. J.; WONG, M. T. F. Integrating farmer knowledge, precision agriculture tools, and crop simulation modelling to evaluate management options for poor-performing patches in cropping fields. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 40-50, 2010. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.05.002>

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

SILVA, J. R. M.; ALEXANDRE, C. Spatial variability of irrigated com yield in relation to field topography and soil chemical characteristics. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 5, p. 453-466, 2005. Springer Link. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-3679-3>

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na especialização de atributos químicos de um Argissolo. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 73-81, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v11i1.15939>

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F.J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north- central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1, p. 263-283, 2005. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.010>

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v. 7, p. 441-448, 1994. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.2134/jpa1994.0441>

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS; J. C.; SANA, R. S.; SOFIATTI; V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 595-602, 2014. Scielo Brasil. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000600005>.